

Peningkatan Kualitas Briket Serabut dan Cangkang Kelapa Sawit Melalui Torefaksi

Shintawati^{1*}, Dewi Ermaya², Yeni Ria Wulandari³, Amelia Sri Rezki⁴, Febrina Arief⁵

^{1,2,3,4} Jurusan Teknik

, Program Studi Teknologi Rekayasa Kimia Industri, Politeknik Negeri Lampung

⁵ Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Provinsi Lampung

e-mail : shintawati@polinela.ac.id

INFORMASI ARTIKEL

Diterima 20 Juni 2024
Direvisi 30 Juni 2024
Diterbitkan 06 Agustus 2024

Kata kunci:

Briket, torefaksi, kualitas

ABSTRAK

Indonesia merupakan daerah tropis dengan potensi biomassa sangat besar sebagai sumber energi baru terbarukan. Industri pengolahan kelapa sawit (PKS) menghasilkan biomassa padat berupa cangkang dan serat kelapa sawit yang dimanfaatkan sebagai sumber energi namun kuantitasnya melebihi kebutuhan energi di industri tersebut. Bahan bakar padat dari biomassa memiliki keterbatasan pada rendahnya nilai kalor yang dihasilkan. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji peningkatan kualitas briket berbahan baku serabut dan cangkang kelapa sawit melalui torefaksi pada suhu 200°C dan 300°C. Hasil penelitian menunjukkan torefaksi mampu meningkatkan kualitas briket baik serat maupun campuran serat dan cangkang kelapa sawit. Kualitas briket campuran cangkang dan serabut hasil torefaksi suhu 300°C memenuhi SNI 01-6235-2000 untuk parameter nilai kalor, kadar air dan kadar abu masing-masing sebesar 6680 kal/g, 4,58%, dan 6,07%.

Improving the Quality of Palm Oil Fiber and Shell Briquettes Through Torrefaction

ARTICLE INFO

Received June 20, 2024
Revised June 30, 2024
Published August 06, 2024

Keyword:

Briquettes, torrefaction
, quality

ABSTRACT

Indonesia is a tropical region with enormous biomass potential as a source of new, renewable energy. The palm oil processing industry (PKS) produces solid biomass in the form of palm shells and fiber which is used as an energy source, but the quantity exceeds the energy needs of the industry. Solid fuel from biomass has limitations due to the low calorific value produced. This research aims to examine the improvement in quality of briquettes made from palm fiber and shells through torrefaction at temperatures of 200°C and 300°C. The research results show that torrefaction is able to improve the quality of biomass briquettes, both fiber and a mixture of fiber and palm oil shells. The quality of the mixed shell and fiber briquettes resulting from torrefaction at 300°C meets SNI 01-6235-2000 for the parameters of calorific value, water content and ash content of 6680 cal/g, 4.58% and 6.07% respectively.

This work is licensed under a [Creative Commons Attribution 4.0](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/)



1. PENDAHULUAN

Kebijakan pemerintah untuk menurunkan emisi gas rumah kaca melalui Peraturan Pemerintah Nomor 79 Tahun 2014 tentang Kebijakan Energi Nasional memiliki target penurunan emisi melalui penggunaan bauran sumber Energi Baru Terbarukan (EBT) minimal 23% pada 2025 dan 31% pada 2050. Upaya pemerintah

dengan transisi energi adalah pengurangan penggunaan sumber energi dari fosil seperti batu bara dan lainnya, dan lebih banyak menggunakan EBT. Indonesia merupakan negara tropis dimana sumber biomassa sangat berlimpah dan beragam. Biomassa merupakan rantai panjang dari senyawa organik kompleks, jenis biomassa akan mempengaruhi komposisi senyawa karbon yang terdapat di dalamnya. Tingginya unsur karbon dalam biomassa merupakan salah satu indikasinya nilai kalor dari biomassa tersebut. Keunggulan biomassa sebagai bahan bakar adalah kandungan sulfur yang jauh lebih rendah dari bahan bakar fosil menjadikannya sebagai sumber energi yang ramah lingkungan.

Kelapa sawit merupakan salah satu komoditas perkebunan unggulan Provinsi Lampung. Produksi kelapa sawit perkebunan rakyat di Provinsi Lampung pada 2020 sebanyak 197.639 ton dan meningkat menjadi 206.951 ton pada tahun 2022. Luas lahan sawit di Provinsi Lampung menduduki peringkat 6 nasional yaitu 109.339 Hektare (Ha) dengan produktivitasnya 2.200 Kg/Ha. Kabupaten yang memiliki lahan sawit terluas adalah Mesuji yakni 22,390 Ha dengan produksi 45,453 Ton dan produktivitas 2.158 Kg/Ha serta diikuti oleh Kabupaten Lampung Tengah dengan luas 19,466 Ha dengan produksi 44,156 Ton dan produktivitas 2.938 Kg/Ha[1].

Kelapa sawit sering disebut mutiara hitam nusantara. Kandungan minyak pada buah kelapa sebesar sawit 30-40%, yang jauh tinggi dibandingkan tanaman penghasil minyak lainnya seperti kedelai. Sebagai biomassa semua bagian tanaman kelapa sawit dapat diolah menjadi produk yang memiliki nilai ekonomi. Sisa dari panen buah sawit berupa bahan padat yang terdiri dari TKKS, cangkang, dan serabut. Satu ton Tandan Buah Segar (TBS) Kelapa Sawit, akan menghasilkan 20 % - 23 % CPO, 5% - 7 % PKO (*Palm Kernel Oil*) dan sisanya berupa limbah padat, yaitu 21,5 % TKKS, 12,3% serat buah kelapa sawit dan 5,4 % cangkang kelapa sawit[2]. Cangkang dan serabut sawit digunakan kembali oleh pabrik untuk bahan bakar boiler di pabrik, namun karena jumlahnya sangat besar dibandingkan dengan kebutuhan energi di industri sawit, sebagian dibuang ke kebun sebagai pupuk. Pemanfaatan cangkang dan serabut sawit belum dilakukan secara optimal, selama ini kelebihan penggunaan di boiler akan dibuang ke kebun sebagai peneras jalan atau pupuk

Berdasarkan data di atas setiap tahunnya Provinsi Lampung menghasilkan 20.000 ton serabut sawit. Cangkang dan serabut sawit memiliki kandungan lignin yang tinggi, struktur bahan kuat, tinggi kandungan unsur karbon sehingga berpotensi memiliki nilai kalor yang baik. Kadar karbon cangkang dan serabut kelapa sawit masing-masing adalah 52,4% dan 47,2%[3]. Tingginya kandungan lignin dalam serabut sawit memungkinkan keduanya untuk dibuat bahan bakar padat atau yang disebut briket. Proses "*briquetting*" merupakan proses pembuatan briket dimana terjadi perubahan bentuk secara fisik pada bahan baku yang sebagian besar berasal dari limbah pertanian menjadi briket sebagai bahan bakar dengan proses pemadatan. Briket merupakan salah satu bentuk sediaan sumber energi yang dimaksudkan agar memudahkan perpindahan sediaan energi tersebut, memiliki nilai kalori per volume padatan yang tinggi, menghindari kepulan atau bertebangnya material halus dan ringan dari bahan bakar tersebut serta sebagai bentuk penggunaan energi terbaharukan berbasis sumber daya alam setempat. Penggunaan sumber energi berbasis sumber daya alam setempat akan meminimalkan krisis energi, menurunkan biaya energi lokal dan sesuai untuk wilayah Indonesia yang bersifat kepulauan, dimana sarana prasarana serta infrastruktur distribusi energi merupakan biaya yang tidak murah. Dampak jangka panjang penggunaan sumber energi berbasis lokal diharapkan menurunkan biaya hidup masyarakat lokal.

Pemanfaatan serabut dan cangkang sebagai sumber energi dalam bentuk briket dilakukan melalui pemadatan dengan cara pengempaan/penekanan sehingga rapat massa dan potensinya meningkat. Terdapat dua jenis briket yaitu briket yang melalui proses pengarangan dan briket tanpa pengarangan. Keunggulan briket dengan pengarangan adalah memiliki daya simpan yang lebih lama serta meningkatkan nilai karbon tetap dan kalori[4]. Beberapa faktor yang mempengaruhi kualitas briket adalah jenis biomassa, jenis perekat, metode dan suhu pengarangan serta ukuran partikel briket. Briket dari kotoran sapi dan kulit durian memiliki kualitas terbaik dengan kadar air, kadar abu, *volatile matter*, *fixed carbon* dan nilai kalor masing-masing adalah 0,90%, 0,38%, 0,52%, 98,40% dan 4.912,11 kal/g[5]. Briket cangkang sawit memiliki nilai kalor yang lebih tinggi dari batubara bintumen 29.6 MJkg⁻¹[6] sehingga cangkang kelapa sawit berpotensi untuk meningkatkan nilai kalor batu bara muda. Briket merupakan produk yang dibuat dengan teknologi alternatif yang mudah dan murah, memproduksinya hanya memerlukan teknologi sederhana. Torefaksi merupakan proses pengarangan dengan oksigen terbatas pada suhu relative rendah yaitu 200°C - 300°C[7], suhu torefaksi mempengaruhi rendemen dan kualitas arang baik nilai kalor maupun kadar karbon terikat[8][9]. Pembuatan briket dari serabut sawit melalui pengarangan manual telah dilakukan dengan hasil kadar air briket memenuhi SNI 01-6235-2000 namun penelitian ini belum mengkaji nilai kalor yang dihasilkan [10]. Briket cangkang kelapa sawit metode pengarangan suhu 450°C dengan perekat belimbing wuluh, menghasilkan mutu yang memenuhi SNI untuk parameter nilai kalor, kadar air, kadar abu dengan nilai masing-masing adalah 5.595,5 kal/g, 1,80 % dan 2,32% serta nilai densitas 0,6458 gr/cm³[11]. Briket

cangkang kelapa sawit dengan metode pengarang torefaksi suhu 275°C mampu menghasilkan nilai kalor yang lebih tinggi yaitu 5.964 kal/g. Pembuatan biobriket dari campuran cangkang dan serabut kelapa sawit tanpa pengarang telah dilakukan dengan nilai kalor 16,4MJ kg⁻¹, kadar abu 6% dan kadar air yang cukup tinggi yaitu 12%[3].

Tujuan penelitian ini adalah mengkaji mutu briket dari cangkang dan serabut kelapa sawit dengan metode tanpa pengarang dan torefaksi dengan parameter mutu antara lain kadar air, kadar abu, zat menguap, nilai kalor dan karbon terikat. Kajian penelitian ini merupakan pengembangan terhadap pemanfaatan sumber energi lokal guna menunjang ketahanan energi setempat.

2. METODOLOGI PENELITIAN

Penelitian diawali dengan penyiapan bahan baku berupa cangkang dan serabut kelapa sawit yang diperoleh dari PTPN VII UU Bekri Lampung Tengah

a. Penyiapan Bahan Baku dan Perekat

Preparasi bahan baku dilakukan dengan mengeringkan cangkang dan serabut selama 24 jam menggunakan oven 50°C. Perekat dibuat dengan memanaskan air dan melarutkan tepung tapioka 10% b/v, diaduk hingga kental[12]

b. Pengarang Cangkang dan Serabut Kelapa Sawit

Cangkang dan serabut yang telah dikeringkan diarang dengan torefaksi pada suhu 200°C dan 300°C selama 1 jam. Cangkang dan serabut dihaluskan menggunakan *discmill* kemudian diayak dengan ayakan 40 mesh. Serabut tanpa pengarang disiapkan sebagai bahan baku briket tanpa pengarang.

c. Pembuatan Briket

Bahan baku dicampur perekat dengan perbandingan berat arang terhadap perekat adalah 4 : 1. Pembuatan briket arang campuran cangkang dan serabut dilakukan dengan mencampurkan keduanya dengan perbandingan 1:1. Bahan baku yang telah diberi perekat dicetak dalam alat cetak briket. Ukuran diameter dan panjang briket masing-masing 2,5 cm dan 8 cm. Briket yang telah dicetak dikeringkan dalam oven pada suhu 70°C selama 24 jam. Tabel 1 menunjukkan variasi penelitian ini.

Tabel 1. Variasi Bahan Baku Pembuatan Briket

No	Bahan Baku
1	Serabut tanpa pengarang
2	Serabut torefaksi 200°C
3	Serabut torefaksi 300°C
4	Serabut + Cangkang torefaksi 200°C
5	Serabut + Cangkang torefaksi 300°C

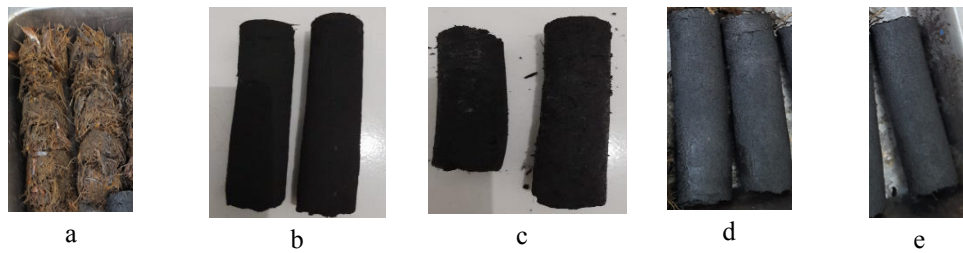
d. Pengujian Kualitas Briket

Pengujian produk briket bioarang antara lain masa jenis briket, nilai kalori menggunakan *bomb calorimeter*[13], Analisa proksimat menggunakan standar ASTM D3172 dengan parameter kadar air, kadar abu, karbon terikat, dan kadar zat terbang (VM). Masa jenis briket (ρ) diukur menggunakan metode yang dikemukakan[14], melalui pengukuran dimensi briket dan perhitungan volume (V) serta masa (m) briket. Densitas briket dihitung dengan rumus berikut :

$$\rho \left(\frac{g}{cm^3} \right) = \frac{m(g)}{V(cm^3)} \dots\dots\dots(1)$$

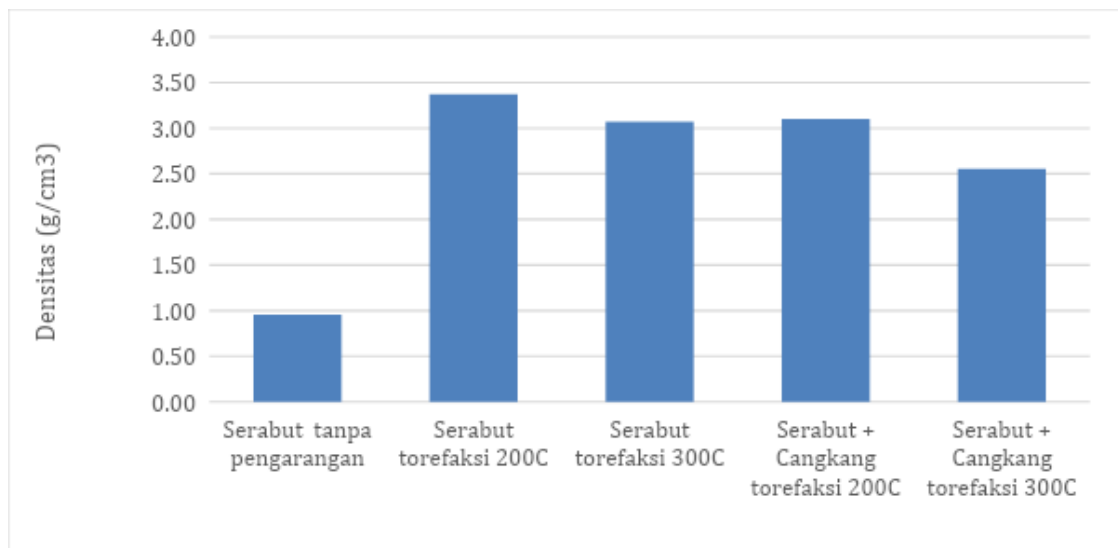
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penelitian ini menghasilkan 5 variasi produk briket yaitu a. briket serabut tanpa pengarang, b. briket serabut hasil torefaksi pada suhu 200°C, c. briket serabut hasil torefaksi pada suhu 300°C, d. briket campuran serabut dan cangkang hasil torefaksi 200°C serta e. briket campuran serabut dan cangkang hasil torefaksi 300°C. Gambar 1 memperlihatkan masing-masing produk



Gambar 1. Produk Briket dengan 5 Variasi

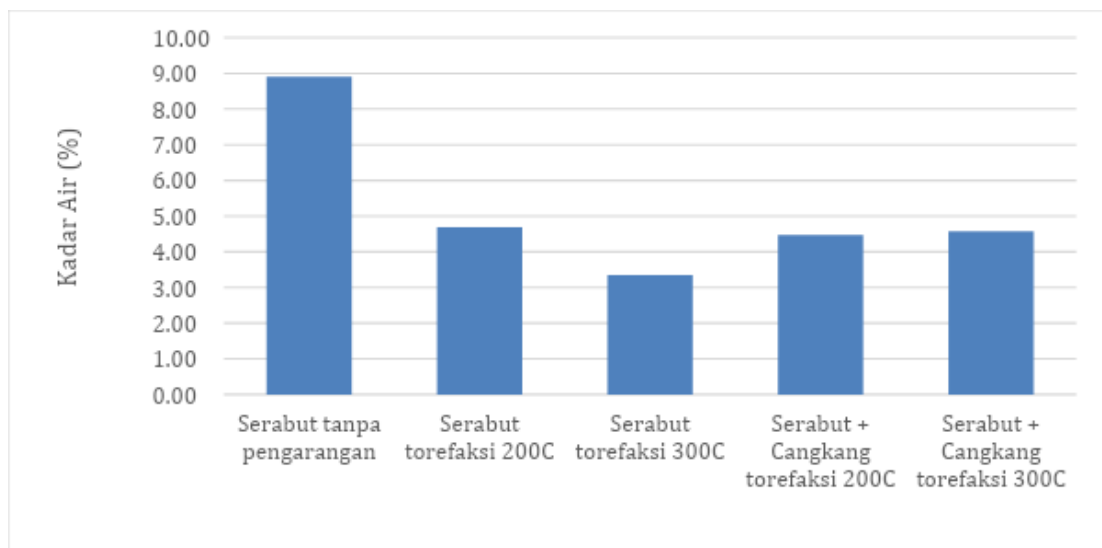
Briket biomassa tanpa pengarangan dikenal dengan biobriket. Biobriket pada penelitian ini adalah gambar a, briket yang dihasilkan memiliki densitas yang lebih kecil dibandingkan produk briket lainnya dengan masa jenis $0,96 \text{ g/cm}^3$. Densitas biobriket penelitian ini menyerupai densitas biobriket tandan kosong sawit dengan perekat alga coklat yaitu $0,96 \text{ g/cm}^3$ – $1,05 \text{ g/cm}^3$ [13] namun lebih rendah dibandingkan biobriket dari bambu yaitu $0,986 \text{ g/cm}^3$ [14], hal ini dikarenakan perbedaan komponen organik penyusun kedua bahan. Densitas produk briket dengan pengarangan atau disebut briket arang memiliki densitas lebih tinggi dari biobriket yaitu $2,56 \text{ g/cm}^3$ – $3,37 \text{ g/cm}^3$ sebagaimana Gambar 2. Briket serabut kelapa sawit hasil torefaksi 300°C lebih tinggi densitasnya dibandingkan briket serabut hasil torefaksi 200°C hal yang sama juga terjadi pada briket campuran cangkang dan serat, diduga meningkatnya suhu maka semakin banyak zat terbang yang lepas dari arang sehingga densitas briket yang dihasilkan semakin rendah.



Gambar 2. Densitas Produk Bio Briket dan Briket Arang

3.1. Kadar Air

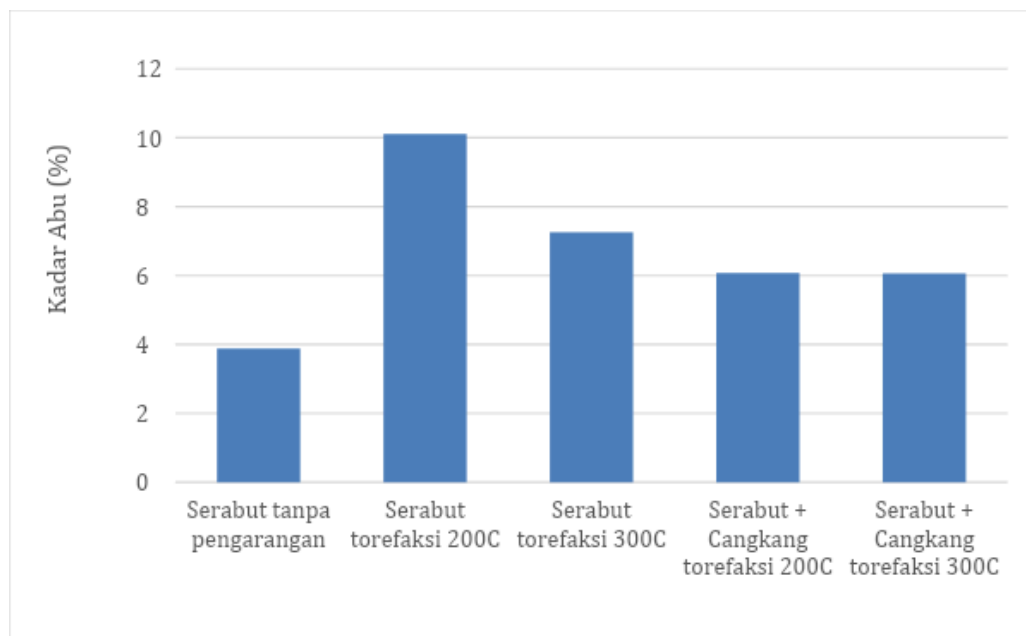
Kadar air briket serabut tanpa pengarangan/ biobriket serabut lebih tinggi dari kadar air produk briket dengan torefaksi. Kadar air biobriket sabut kelapa sawit pada penelitian ini adalah 8,91% lebih rendah dari biobriket limbah kehutanan yaitu 11,51%[15]. Kadar air biobriket penelitian ini memenuhi standar SNI 8675:2018 tentang Pellet Biomasa untuk Energi [16] yaitu <10 % baik peruntukan rumah tangga maupun <12% untuk industri. Gambar 2 menunjukkan peningkatan suhu torefaksi menurunkan kadar air briket baik pada briket serabut saja maupun briket campuran serabut dan cangkang. Penelitian ini berkesesuaian dengan penelitian [17] yang menyatakan semakin meningkatnya suhu torefaksi maka kadar air arang akan semakin menurun. Kadar air briket arang penelitian ini berkisar 3,35% - 4,7% dan memenuhi SNI 01-6235-2000 : Briket Arang Kayu yaitu kurang dari 8%. Kadar air produk briket yang rendah memiliki keunggulan yaitu memiliki daya simpan yang lama dan mudah dalam penyalaan.



Gambar 3. Pengaruh Jenis Bahan Baku dan Suhu Torefaksi terhadap Kadar Air.

3.2. Kadar Abu

Kadar abu mencirikan kandungan mineral tidak menguap dalam briket. Hasil penelitian kadar abu briket serat tanpa pengarangan adalah 3,89% yang memenuhi SNI 8675:2018 yaitu $< 5\%$. Produk briket dari serabut melalui proses torefaksi 200°C memiliki kadar abu yang lebih tinggi dari briket dengan torefaksi 300°C masing-masing adalah 10,11% dan 7,25% (Gambar 4), hal yang sama pada produk briket dari campuran serabut dan cangkang memiliki kadar abu masing-masing 6,08 dan 6,07%. Kadar abu pada briket yang terbuat dari serabut tanpa campuran cangkang lebih tinggi dari kadar abu pada briket campuran, hal ini karena kadar abu pada serabut lebih tinggi 160,1% dari kadar abu cangkang sawit[3]. Kadar abu briket torefaksi memenuhi SNI 01-6235-2000 untuk briket torefaksi 300°C , baik briket serabut maupun campuran serabut dan cangkang.

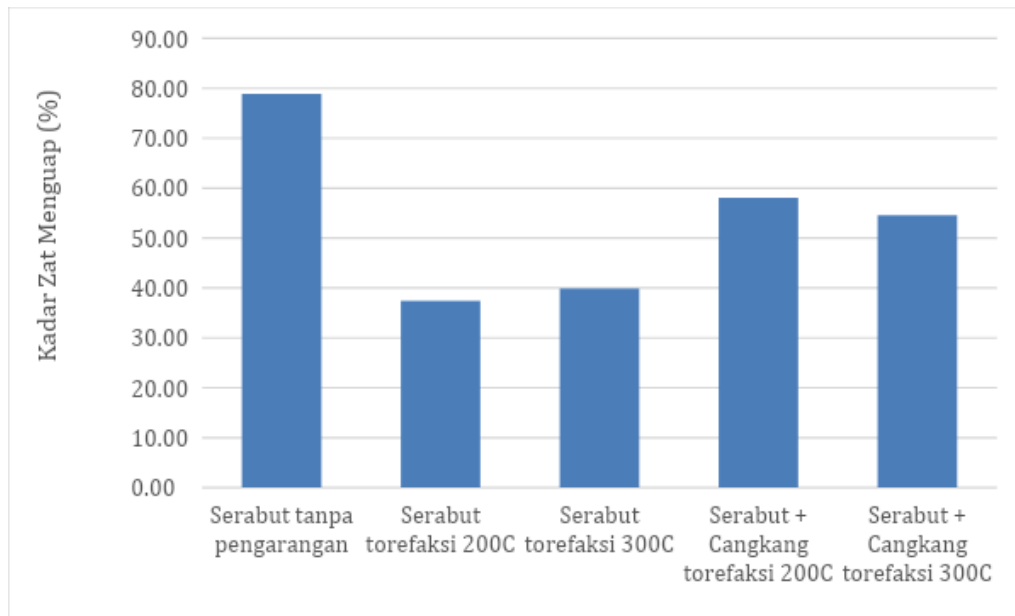


Gambar 4. Pengaruh Jenis Bahan Baku dan Suhu Torefaksi terhadap Kadar Abu

3.3 Kadar Zat Menguap

Zat menguap pada bahan bakar padat berkontribusi terhadap pembentukan asap. Briket sabut tanpa pengarangan memiliki kadar zat menguap tertinggi yaitu 78,88%, nilai ini memenuhi SNI 8675:2018 biobriket untuk keperluan industri yaitu $< 80\%$. Briket dengan bahan baku serabut yang ditorefaksi memiliki kadar zat menguap yang lebih rendah dari briket torefaksi campuran cangkang dan serabut dengan nilai

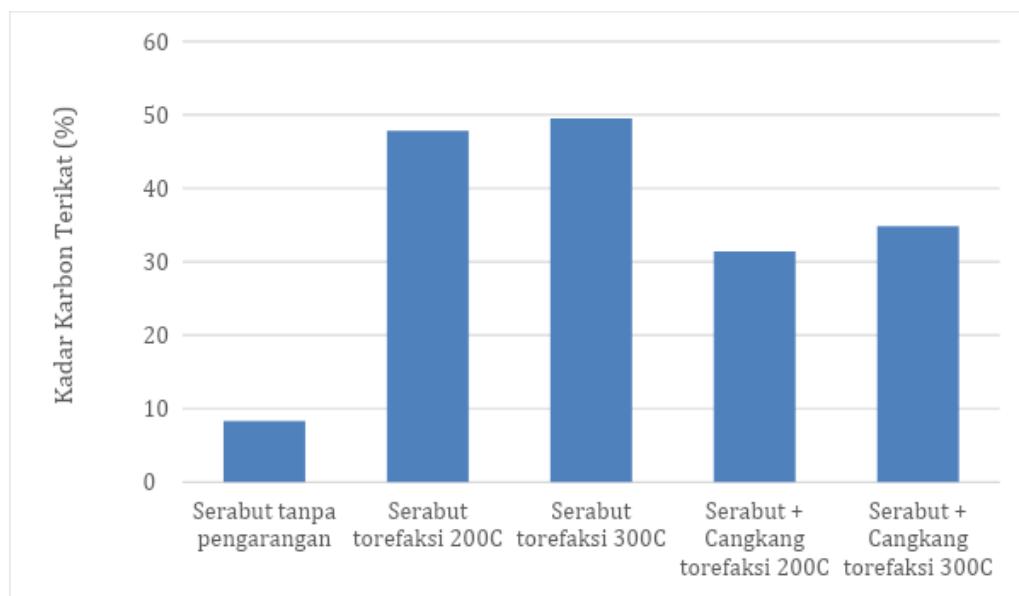
masing-masing berkisar 37,38%-39,88% dan 58,06%-54,55%. Hal ini karena kandungan zat menguap pada cangkang lebih tinggi 4,4% dari serabut sawit[3]. Torefaksi meningkatkan kualitas briket dengan menurunkannya kandungan zat menguap. Meningkatnya suhu torefaksi mengakibatkan menurunnya zat menguap pada briket campuran cangkang dan serabut, namun sebaliknya pada briket serabut dengan torefaksi.



Gambar 5. Pengaruh Jenis Bahan Baku dan Suhu Torefaksi terhadap Kadar Zat Menguap

3.4 Kadar Karbon Terikat

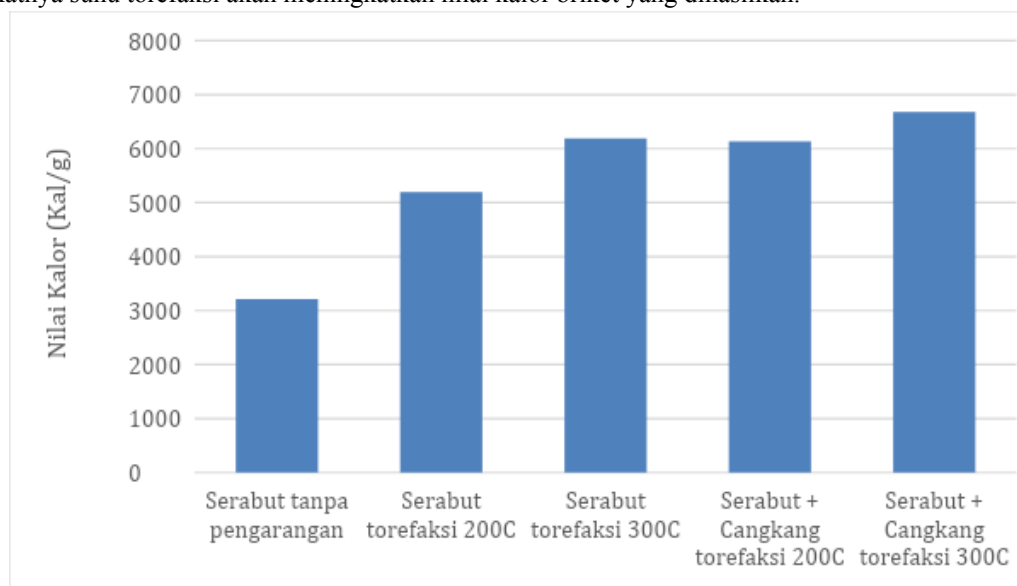
Kadar karbon terikat briket dari serabut tanpa pengarangan memiliki nilai terendah yaitu 8,33% sedangkan briket torefaksi pada 300°C menghasilkan kadar karbon terikat tertinggi yaitu 49,53%. Gambar 6 menunjukkan kadar karbon terikat meningkat dengan meningkatnya suhu torefaksi hal ini berkesesuaian dengan penelitian [18].



Gambar 6. Pengaruh Jenis Bahan Baku dan Suhu Torefaksi terhadap Kadar Karbon Terikat

3.5 Nilai Kalori Briket

Nilai kalor briket tanpa pengarangan adalah 3216 kal/g, nilai ini belum memenuhi SNI 8675:2018 [16] yaitu 3941 kal/g. Nilai kalor briket torefaksi berkisar 5193 kal/g -6680 kal/g dan telah memenuhi SNI 01-6235-2000[19]. Gambar 7 memperlihatkan torefaksi mampu meningkatkan nilai kalor briket dan meningkatnya suhu torefaksi akan meningkatkan nilai kalor briket yang dihasilkan.



Gambar 7. Pengaruh Jenis Bahan Baku dan Suhu Torefaksi terhadap Nilai Kalor

4. KESIMPULAN

Torefaksi meningkatkan mutu briket biomassa baik serat maupun campuran serat dan cangkang kelapa sawit. Kualitas briket torefaksi suhu 300°C memenuhi SNI 01-6235-2000 untuk parameter nilai kalor, kadar air dan kadar abu masing-masing sebesar 6680 kal/g, 4,58%, dan 6,07%. Upaya penurunan kadar zat menguap pada produk briket torefaksi dapat dilakukan melalui peningkatan suhu torefaksi.

Ucapan Terima Kasih

Terimakasih penulis sampaikan kepada Badan Penelitian dan Pengembangan Daerah Provinsi Lampung sebagai penyandang dana penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] <https://lampung.bps.go.id/>, "Provinsi Lampung Dalam Angka 2021-2022."
- [2] A. Haryanto, Shintawati, and U. Hasanudin, "Anaerobic Treatment for Palm Oil Mill Effluent Using Covered In-the Ground Anaerobic Reactor (CIGAR)," *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 53, no. 6, 2021, doi: 10.5614/J.ENG.TECHNOL.SCI.2021.53.6.9.
- [3] Z. Husain, Z. Zainac, and Z. Abdullah, "Briquetting-of-palm-fibre-and-shell-from-the-processing-of-palm-nuts-to-palm-oil_2002_Biomass-and-Bioenergy," *Biomass and Bioenergy*, vol. 22, pp. 505–509, 2002.
- [4] T. Rubiyanti, W. Hidayat, I. G. Febryano, and S. Bakri, "Karakterisasi Pelet Kayu Karet (*Hevea brasiliensis*) Hasil Torefaksi dengan Menggunakan Reaktor Counter-Flow Multi Baffle (COMB)," *J. Sylva Lestari*, vol. 7, no. 3, pp. 321–331, 2019, doi: 10.23960/jsl37321-331.
- [5] A. D. Radityaningrum and B. Y. Harnawan, "Jurnal Teknologi Lingkungan Karakteristik Biobriket dari Kotoran Sapi dengan Kulit Durian Characteristics of Biobriquette from Cow Manure with Durian Bark," vol. 23, no. 2, pp. 222–228, 2022.
- [6] N. ABDULLAHI, F. SULAIMAN, and A. A. SAFANA, "Bio-oil and biochar derived from the pyrolysis of palm kernel shell for briquette," *Sains Malaysiana*, vol. 46, no. 12, pp. 2441–2445, 2017, doi: 10.17576/jsm-2017-4612-20.
- [7] B. Acharya, I. Sule, and A. Dutta, "A review on advances of torrefaction technologies for biomass processing," *Biomass Convers. Biorefinery*, vol. 2, no. 4, pp. 349–369, 2012, doi: 10.1007/s13399-012-0058-y.
- [8] P. Hernowo *et al.*, "Chemicals component yield prediction and kinetic parameters determination of oil palm shell pyrolysis through volatile state approach and experimental study," *J. Anal. Appl. Pyrolysis*, vol. 161, no. September 2021, p. 105399, 2022, doi: 10.1016/j.jaap.2021.105399.
- [9] B. Arias, C. Pevida, J. Feroso, M. G. Plaza, F. Rubiera, and J. J. Pis, "Influence of torrefaction on the grindability and reactivity of woody biomass," *Fuel Process. Technol.*, vol. 89, no. 2, pp. 169–175, 2008, doi:

- 10.1016/j.fuproc.2007.09.002.
- [10] I. B. Rahardja, C. E. Hasibuan, and Y. Dermawan, "Analisis briket fiber mesocarp kelapa sawit metode karbonisasi dengan perekat tepung tapioka," *J. Ilm. Tek. Mesin*, vol. 16, no. 2, pp. 82–91, 2022, doi: 10.24853/sintek.16.2.82-91.
- [11] B. S. Putra and A. A. Hidayat, "Menggunakan Perekat Daun Belimbing Wuluh Bricket From Oil Palm Shell using Wuluh Star Leaves Adhesive," *J-Teta*, vol. 1, no. 1, pp. 1–6, 2022.
- [12] Rukmana, S. Purwono, and T. Yuliansyah, "Pemanfaatan Cangkang Biji Pala sebagai Briket dengan Proses Pirolisis," *Pemanfaat. Cangkang Biji Pala sebagai Briket dengan Proses Pirolisis*, vol. 9, no. 1, pp. 44–50, 2015.
- [13] A. Dewita, M. Faisal, and A. Gani, "Physical Characteristics of Briquettes Made of Oil Palm Empty Fruit Bunches (EFB) Using Brown Algae Adhesive," *J. Rekayasa Kim. Lingkungan*, vol. 15, no. 1, pp. 38–44, 2020, doi: 10.23955/rkl.v15i1.15429.
- [14] A. Brunerová, H. Roubik, and M. Brožek, "Bamboo fiber and sugarcane skin as a bio-briquette fuel," *Energies*, vol. 11, no. 9, 2018, doi: 10.3390/en11092186.
- [15] O. K. Fadele, T. O. Amusan, A. O. Afolabi, and C. A. Ogunlade, "Characterisation of briquettes from forest wastes: Optimisation approach," *Res. Agric. Eng.*, vol. 67, no. 3, pp. 138–147, 2021, doi: 10.17221/6/2021-RAE.
- [16] S. N. Indonesia and B. S. Nasional, "Pelet biomassa untuk energi," 2018.
- [17] W. Wulandari *et al.*, "Torrefaction of rubberwood waste: The effects of particle size, temperature & residence time," *J. Eng. Technol. Sci.*, vol. 52, no. 2, pp. 137–152, 2020, doi: 10.5614/j.eng.technol.sci.2020.52.2.1.
- [18] Y. Bindar *et al.*, "Large-scale pyrolysis of oil palm frond using two-box chamber pyrolyzer for cleaner biochar production," *Biomass Convers. Biorefinery*, no. 0123456789, 2022, doi: 10.1007/s13399-022-02842-1.
- [19] BSN, "Standar Nasional Indonesia SNI 01-6235-2000 Briket arang kayu," *Standar Nas. Indones. 01-6235-2000*, pp. 1–8, 2000.